

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СШП-АНТЕНН НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Абдрахманова Г.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия (450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12), e-mail: [tekasesochka@yandex.ru](mailto:tekasesochka@yandex.ru)

В статье рассмотрена задача проектирования СШП-антенны на основе применения генетического алгоритма (ГА) и алгоритма роя частиц (АРЧ). С этой целью изначально предложена Bug-антенна, основанная на двух совмещенных кругах разного диаметра, отстоящих друг от друга на определенном расстоянии. Далее задана целевая минимизируемая функция  $S_{11}$ , которая в пределах СШП-диапазона 3,1÷10,6 ГГц должна быть меньше – 15 дБ. Данное условие обеспечивается за счет изменения различных геометрических параметров антенны. В результате получены две модификации Bug1 и Bug2, обеспечивающие стабильные частотные характеристики в пределах указанного диапазона и малые размеры. АРЧ использовал меньшее количество вычислений, и рабочая полоса частот оказалась чуть шире, чем в случае ГА, но размеры антенны при этом оказались больше.

Ключевые слова: СШП-связь, генетический алгоритм, алгоритм роя частиц, Bug-антенна.

## UWB ANTENNAS DESIGN BASED ON OPTIMIZATION ALGORITHMS

Abdrakhmanova G.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Ufa, street K. Marx, 12), e-mail: [tekasesochka@yandex.ru](mailto:tekasesochka@yandex.ru)

UWB antennas development on the basis of genetic algorithm (GA) and particle swarm optimization (PSO) algorithm is described in this paper. New Bug-antenna, consisted of two different diameters circles, spaced at some distance between them, is proposed for this purpose. Then the cost function is defined to be less than -15 dB in the UWB frequency band 3,1÷10,6 GHz. This condition is provided by changing the antenna different geometrical characteristics. As a result two modifications Bug1 and Bug2, that provide stable frequency characteristics within the band, mentioned above, and also small size, were developed. PSO uses less number of calculations and provides the operating frequency band wider, than GA, but in this case the antenna size is bigger.

Key words: UWB communication, genetic algorithm, particle swarm optimization algorithm, Bug-antenna.

### Введение

В последние годы наблюдается значительный интерес к технологии сверхширокополосной радиосвязи, функционирующей в полосе частот 3,1÷10,6 ГГц на безлицензионной основе [4; 6]. Разработка основных компонентов данных систем, в частности антенн, является увлекательной задачей, поскольку позволяет исследовать и применять новые геометрии с целью миниатюризации и обеспечения стабильных характеристик излучения [3; 5; 7]. В данной работе предлагается взять за основу Bug-антенну (от англ. bug – жук) и рассчитать ее параметры на основе алгоритмов оптимизации – генетического (ГА) и роя частиц (АРЧ). Назовем эти антенны Bug1 и Bug2 соответственно. Моделирование проводится с использованием ПО «CST Microwave Studio».

### Исходные данные и моделирование

Эскиз антенны представлен на рисунке 1. Излучающий элемент (ИЭ) состоит из двух кругов радиусами  $r$  и  $r_1$ , центры которых отстоят на расстоянии  $s$  друг от друга. Компланарный волновод (КВ) включает центральный проводник (ЦП) и плоскость земли (ПЗ). Все эти элементы расположены на диэлектрической подложке. Питание антенны производится посредством SMA-коннектора и волноводного порта.

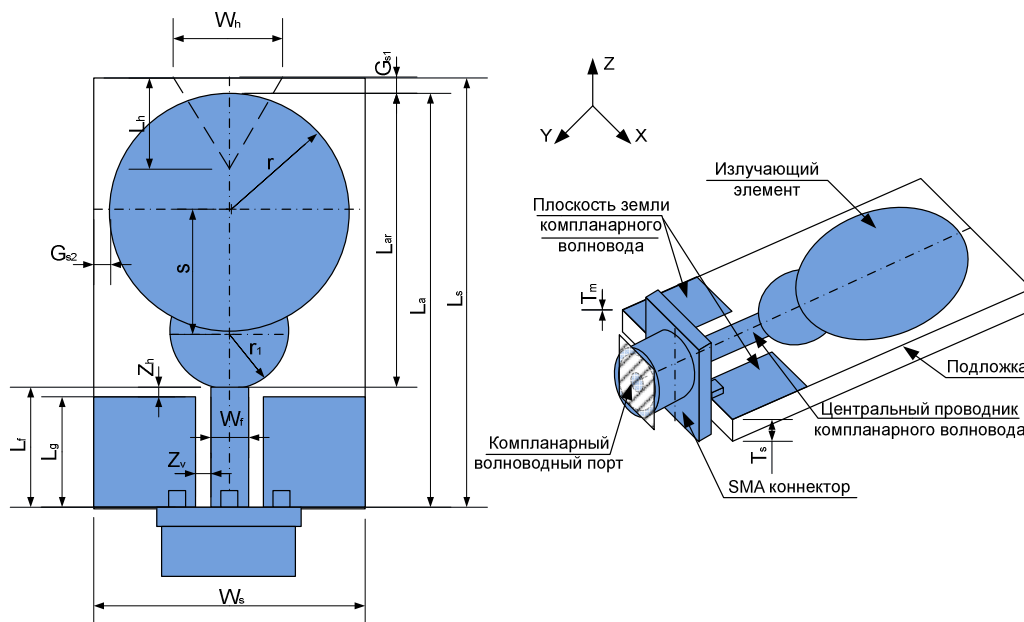


Рисунок 1 – Эскиз Vug-антенны

Значения исходных параметров антенны представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры антенны

Назв.	Описание	Формула	Значение
$L_{ar}$	Длина ИЭ	$2 \cdot r + r_1$	20 мм
$L_a$	Длина антенны	$L_{ar} + L_f$	28 мм
$L_f$	Длина ЦП	$r$	8 мм
$L_g$	Длина ПЗ	$r - T_s$	7,24 мм
$L_s$	Длина подложки	$L_a + G_{s1}$	29 мм
$W_s$	Ширина подложки	$2 \cdot r + 2 \cdot G_{s2}$	18 мм
$G_{s1}$	Зазор подложки		1 мм
$T_m$	Толщина металла		0,035 мм
$T_s$	Толщина подложки		0,76 мм
$\epsilon_s$	Диэлектрическая проницаемость		3,38
$\text{tg}\delta$	Тангенс угла диэл. потерь подложки		0,0025
$W_f$	Ширина ЦП КВ		1,47 мм
$Z_v$	Зазор вертикальный (ЗВ)		0,4 мм

Суть моделирования заключается в том, что необходимо рассчитать геометрию антенны таким образом, чтобы ее коэффициент отражения  $S_{11}$  не превышал по уровню

-10 дБ в определенном диапазоне частот, который и будет составлять рабочую полосу.  $S_{11}$  показывает долю отраженной мощности относительно падающей:

$$S_{11} = 20 \log \frac{P_{\text{отр}}}{P_{\text{пад}}}, \text{ дБ} \quad (1)$$

где  $P_{\text{отр}}$  – отраженная мощность, Вт;  $P_{\text{пад}}$  – падающая мощность, Вт.

С этой целью на основе алгоритма оптимизации рассчитываются параметры антенны, представленные в таблице 2, чтобы в результате целевая функция удовлетворяла условию:

$$S_{11} < -15 \text{ дБ при } \Delta f = 3,1 \div 10,6 \text{ ГГц.} \quad (2)$$

Таблица 2

#### Оптимизируемые параметры антенны

Назв.	Описание	Диапазон изменений, мм	Исх. значение, мм
$r$	Радиус 1 <sup>го</sup> круга	[4;...10]	8,0
$r_1$	Радиус 2 <sup>го</sup> круга	[1;...8]	4,0
$s$	Расстояние между центрами	[5,5;...10,5]	8,0
$W_h$	Ширина «хвоста»	[0;...17]	17,0
$L_h$	Длина «хвоста»	[2;...18]	6,0
$Z_h$	Зазор горизонтальный (ЗГ)	$Z_h = [0,1;...0,76]$	0,76
$\Delta L_f$	Длина ПЗ КВ	$\Delta L_f = [-6;...+6]$	0
$G_{s2}$	Боковой зазор подложки	$G_s = [0,5;...6]$	1,0

Как отмечалось ранее, в данной работе моделирование основано на технологиях ГА и АРЧ. ГА – алгоритм оптимизации [1] на основе случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих естественную эволюцию, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер. АРЧ – метод оптимизации функции, основанный на поддержании популяции возможных решений, называемых частицами, и перемещении этих частиц в пространстве решений согласно принципу наилучшего найденного в этом пространстве положения, которое постоянно изменяется при нахождении частицами более выгодных положений [2].

#### Результаты вычислений

Внешний вид спроектированных антенн представлен на рисунке 2. В таблице 3 и на рисунках 3, 4 приведены показатели, характеризующие процедуру оптимизации, а также рассчитанные параметры антенн, включая размеры и диапазон частот.

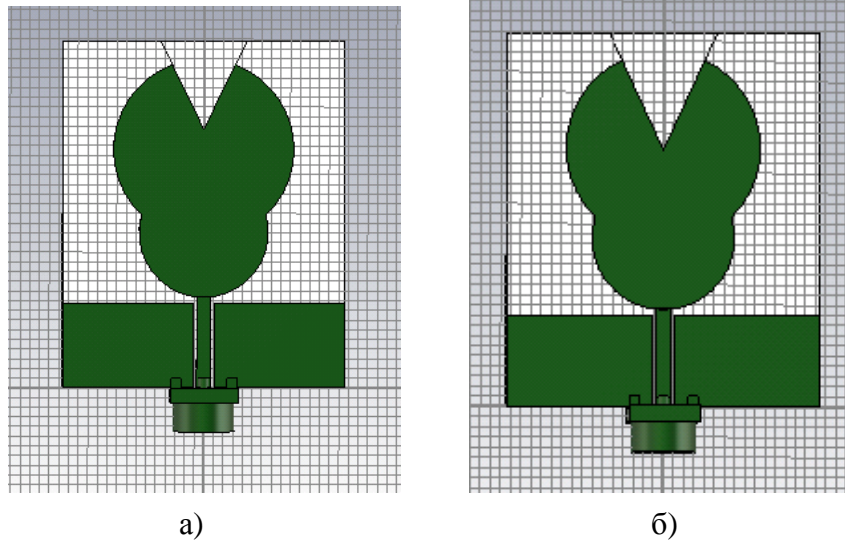


Рисунок 2 – Внешний вид антенн: а) Bug1; б) Bug2

Таблица 3

Рассчитанные параметры

Параметр		Bug1	Bug2
Количество вычислений		497	451
Значение целевой функции	первое	8,17933082581	11,9356336594
	лучшее	3,9593916901	3,26702213287
	последнее	3,9593916901	3,26702213287
$r$		9,33703 мм	9,55981 мм
$r_1$		6,68866 мм	7,02155 мм
$s$		8,56273	8,90643
$W_h$		8,9173	10,6055
$L_h$		9,11331	11,5123
$Z_h$		0,574638	0,637388
$G_{s2}$		5,27929	5,87441
Размеры, мм <sup>2</sup>		33,58842×24,33178	34,48779×30,86844
$\Delta f$ , ГГц		2,85÷15; $\Sigma=12,15$	2,82÷15; $\Sigma=12,18$

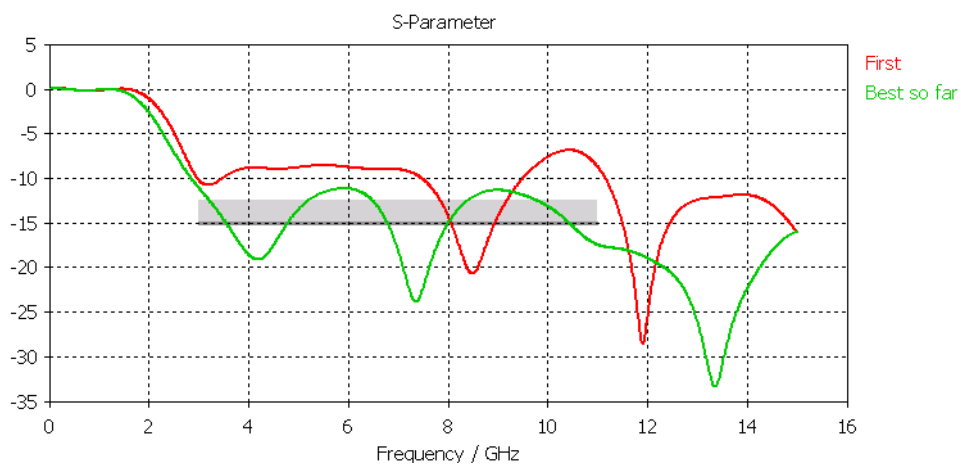


Рисунок 3 – Оптимизация  $S_{11}$  для антенны Bug1

Очевидно, что обе антенны прекрасно функционируют во всем СШП-диапазоне за счет интегрального наложения нескольких резонансов. При этом антенна Bug2 была рассчитана за меньшее количество вычислений и обеспечивает несколько более широкий диапазон частот. В то же время антенна Bug1 имеет меньшие размеры, что может быть существенным преимуществом в случае приложения для мобильных устройств.

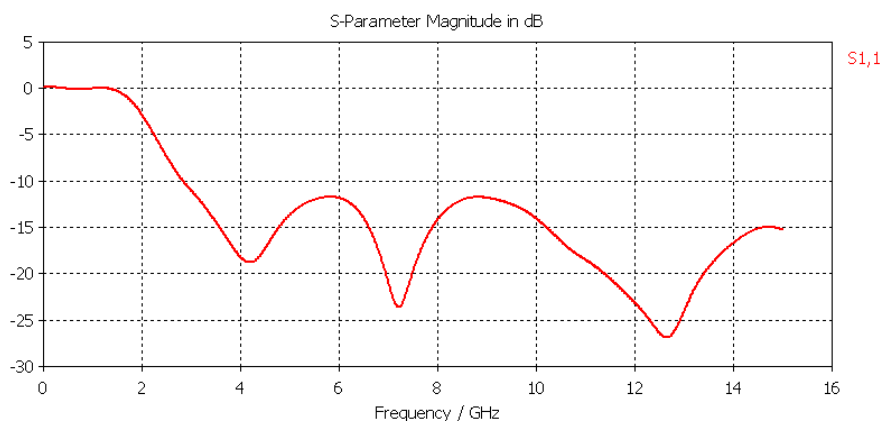


Рисунок 4 – Оптимизация  $S_{11}$  для антенны Bug2

### Заключение

В данной работе предложена геометрия СШП Bug-антенны и рассчитаны две ее новые модификации, разработанные на основе ГА и АРЧ. Согласно проведенным экспериментам, применение алгоритмов для расчета и оптимизации структуры антенн позволяет автоматизировать процесс и добиться хороших результатов: оба образца функционируют в СШП-диапазоне частот 3,1÷10,6 ГГц. При этом АРЧ позволяет получить более широкую полосу частот за меньшее количество вычислений, хотя размеры антенны в данном случае несколько больше тех, что были рассчитаны на основе ГА. Тем не менее антенны Bug1 и Bug2 являются хорошими кандидатами для СШП-приложений с точки зрения и частотных характеристик, и геометрических показателей.

### Благодарности

Исследование поддержано грантом Европейского союза Erasmus Mundus Action 2 и грантом Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.В37.21.1974). Также А.Г.И. благодарит профессора Paolo Росса за полезное обсуждение.

### Список литературы

1. Генетический алгоритм // Википедия. – URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC) (дата обращения: 26.07.2013).

2. Метод роя частиц // Википедия. – URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4\\_%D1%80%D0%BE%D1%8F\\_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%80%D0%BE%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86) (дата обращения: 26.07.2013).
3. Abbosh A.M., Bialkowski M.E. Design of UWB planar band-notched antenna using parasitic elements // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 2009. – Vol. 57, № 3. – P. 796-799.
4. Benedetto M.-G. Di, Giancola G. Understanding ultra wide band radio fundamentals. – Prentice Hall, 2004. – 528 pp.
5. Ghazi A., Azarmanesh M.N. Multi-resonance square monopole antenna for ultra-wideband applications // Progress in Electromagnetics Research C. – 2010. – Vol. 14. – P. 103-113.
6. Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems, Federal Communications Commission, FCC 02-48. – 2002. – 118 pp.
7. Sadeghzaden-Sheikhan R.A., Naser-Moghadasi M., Ebadifallah E., Rousta H., Katouli M., Virdee B.S. Planar monopole antenna employing back-plane ladder-shaped resonant structure for ultra-wideband performance // IET Microwaves, Antennas and Propagation. – 2010. – Vol. 4, Iss. 9. – P. 1327-1335.

#### **Рецензенты**

Султанов Альберт Ханович, д.т.н., проф., зав. каф. телекоммуникационных систем ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа.

Багманов Валерий Хусаинович, д.т.н., проф., зам. зав. каф. телекоммуникационных систем ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа.